تعیین چسبندگی بتن و ملات تعمیری خود متراکم بر بسترهای مختلف بتنی با به کارگیری روش های "پیچش"، "انتقال اصطکاک" و تخمین آن با روش "منطق فازی"*

محمود نادری[۱]   اویس قدوسیان[۲]

چکیده ابداع بتن خود متراکم تحول عظیمی در صنعت بتن در دو دهه گذشته می باشد. در مقایسه با بتن سنتی، این نوع بتن نیازی بـه لرزانـدن ندارد و می تواند بتنی بافشردگی کافی و سطحی صاف و بدون حفره ایجاد نماید. از آنجا که به دلیل ابعاد و شرایط خاص لایه های تعمیری بتنی، متراکم نمودن این لایه ها بسیار دشوار می باشد، و به دلیل تاثیر مستقیم میزان تراکم بر چسبندگی بین لایه تعمیری و بتن قدیم، مـی تـوان ازبـتن خود متراکم که نیازی به عوامل خارجی تراکم کردن ندارد، به گستردگی در کارهای تعمیری در سازه های مختلـف اسـتفاده نمـود. در ایـن مقالـه بررسی میزان چسبندگی بتن و ملات خود متراکم به عنوان لایه تعمیری با بستربتنی دارای شرایط سطوحی مختلف ارائه گردیده است. این بررسی ها با به کارگیری روش های "پیچش" و "انتقال اصطکاک" انجام و پیش بینی نتایج با استفاده از منطق فازی نیز ارائه شده است. نتایج به دست آمده بیانگر آنست که شرایط سطحی بتن بستر، نسبت سنگدانه به خمیره در لایه تعمیری، مقاومت فشاری لایه تعمیری، بتن یا مـلات بـودن لایـه تعمیری و اشباع یا خشک بودن بتن بستر بر چسبندگی بین لایه تعمیری و بستر بتنی تاثیر می گذارد. همچنین مشاهده گردید که برای پـیش بینـی مقدار چسبندگی، می توان از منطق فازی استفاده نموده ونسبت به روش های آماری نتایج دقیق تری به دست آورد.

واژه‌های کلیدی چسبندگی بتن و ملات تعمیری خود متراکم- روش پیچش- روش انتقال اصطکاک- منطق فازی

Assessing the Adhesion of Self-Compacting Concrete and Mortar Applied to Different Concrete surfaces, using twist-off and Friction-Transfer Methods, and its Estimation By Fuzzy Logic

M. Naderi   O. Ghoddoosian

Abstract *Invention of the self-compacting concrete has caused dramatic changes in the concrete industry within the past twenty years. Compared with the ordinary concrete, self-compacting concrete does not need any compaction and by itself can produce concrete with sufficient compaction and smooth surfaces with no voids or honeycombing. Since the compaction has great influence on the adhesion of the concrete repair layers and due to the fact that the compaction of any repair layer is a very difficult task, it seems that SCC can be used with wide spread application as concrete repair materials. In this paper results of studies on the adhesion of self-compacting concrete applied to different concrete surfaces are presented. These studies are undertaken by the use of "twist-off" and "friction-transfer" methods and the prediction of the results by fuzzy logic, is also presented. The results tend to show that surface conditions of the substrate, aggregate to cement ratio of the repair layer, compressive strength of the repair layer, nature of the repair layer (concrete or mortar) and the degree of the moisture of the substrate concrete affect the adhesion along the repair/concrete interface. It is also realized that compared with statistical methods, fuzzy logic can be used for the prediction of the adhesion, with higher accuracy.*

Key Words Self-Compacting Concrete/Concrete Adhesion; Twist-off Method; Friction-Transfer Method; Fuzzy Logic

---

* نسخه‌ی اول مقاله در تاریخ ۱۳۸۹/۷/۲۹و نسخه‌ی نهایی آن در تاریخ ۱۳۹۰/۷/۵ به دفتر نشریه رسیده است.

(۱) دانشیار، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)

(۲) نویسنده‌ی مسئول، کارشناس ارشد سازه، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)

مقدمه

بتن خود متراکم (SCC) پیشرفت مهمی در تکنولوژی بتن بود و تأثیر زیادی بر روی صنعت بتن گذارد. این نوع بتن برای اولین بار در ژاپن معرفی و در اوایل دهه ۹۰ میلادی اولین کاربردهای مهم آن انجام شد. از آن به بعد کاربرد بتن خود متراکم به سرعت در تمام دنیا گسترش یافت [1,2]. این بتن به علت این که می تواند سطحی صاف و بدون حفره ایجاد نماید و نیازی به لرزاندن ندارد در کارهای تعمیراتی نیز مورد استفاده قرار گرفته است. به عنوان نمونه می توان به پل Rainbow و پل MTO Madawaska River اشاره نمود [3]. با اینکه تعمیر و مرمت سازه های بتنی با ملات و بتن سیمان پرتلندی از دیرباز رایج بوده است، ولی بررسی منابع موجود بیانگر آن است که توجه تخصصی و سیستماتیک به آسیب شناسی و بهسازی این نوع سازه ها تنها به حدود دو دهه گذشته برمی گردد، که به خاطر آسیب های جدی وارده به سازه های بتنی بوده است. از این رو، گستردگی خرابی‌های وارده باعث گردید تا دست اندرکاران صنعت بتن، اقدامات قابل توجهی را در خصوص روشن شدن علل و نحوه شکل گیری آسیب های وارده، تولید مواد و روش های جدید تعمیر و مرمت و نحوه آزمایش مواد و روش‌ها به انجام برسانند. برای اطمینان از عملکرد مصالح مصرفی و روش‌های به کارگرفته شده، روش‌هایی ارایه گردیده است که تاکید آن ها بر تعیین چسبندگی بین لایه تعمیری و بتن قدیم می‌باشد [٤]. اهمیت اطلاع از مقدار چسبندگی موجود بین لایه تعمیری و بتن قدیم، ایجاب می نماید تا روشی مناسب برای اندازه گیری دقیق و در جای آن انتخاب گردد. برخی تکنیک های تعمیر و یا مقاوم سازی سازه ها شامل اعمال بتن جدید به عنوان لایه تعمیری به بستر بتنی موجود می باشد. سطح بتن بستر در مقدار چسبندگی بتن جدید به بتن موجود، تأثیر گذار خواهد بود. تحقیقات متعددی در زمینه تأثیر زبری سطح بتن بستر بر میزان چسبندگی بتن به بتن، انجام شده است[5,6,7,8,9,10] .

در این مطالعه سه طرح اختلاط بتن خود متراکم و سه طرح اختلاط ملات خود متراکم به عنوان لایه ترمیمی به کار گرفته شده است. از بتن های معمولی با ابعاد ۱۵×۱۵×۵ سانتی متر و با سطحی صاف به عنوان بتن پایه برای لایه های ترمیمی استفاده شده است. این بتن های پایه در ۵ حالت خشک با سطح خشک، خشک با سطح دوغابی، اشباع با سطح خشک، اشباع با سطح خیس و اشباع با سطح دوغابی آماده شده اند. پس از ریختن لایه ترمیمی بر روی این بتن ها و عمل آوری آنها در حالت عمل آوری در گونی و پلاستیک با استفاده از روش پیچش و انتقال اصطکاک به بررسی چسبندگی این لایه ها به بستر بتنی خود در سن ۲۸ روزه پرداخته شده است. سپس با استفاده از تحلیل آماری (رگرسیون خطی) به کمک نرم افزار SPSS 17 درجه اهمیت هر پارامتر تعیین شده است و فرمولی برای تعیین لنگر پیچشی به دست آمده از روش‌های پیچش و انتقال اصطکاک برای تعیین چسبندگی دو لایه با توجه به پارامترهای تأثیر گذار ارایه شده است. در نهایت به کمک مدل فازی و با استفاده از نرم افزار MATLAB 2009 مقدار چسبندگی پیش بینی شده و با نتایج آزمایشگاهی و نتایج حاصل از مدل رگرسیون خطی مقایسه شده است.

مخلوط‌های تر و نتایج آزمایش‌های مربوطه

طرح اختلاط بتن ها و ملات های خود متراکم استفاده شده در این تحقیق‌ها در جدول (۱)، نسبت های مهم در طرح اختلاط در جدول (۲) و نتایج آزمایش های انجام شده روی بتن و ملات تر در جدول (۳) ارایه گردیده است. آزمایش‌های انجام شده شامل آزمایش‌های جریان اسلامپ، T_{500}، قیف V شکل و V_5 می‌باشد؛ زیرا حداکثر اندازه سنگدانه‌های مصرفی، ۹/۱۵ میلی‌متر می‌باشد.

جدول ۱ طرح اختلاط بتن ها و ملات های خود متراکم استفاده شده

نمونه	C	FA	W	SP	G4.75	S2.36	S1.18	S0.6	S0.3	S0.15
SCC1	۳٦۸/۸	۱۸٤/٥	۲۳۸/۷٥	٤/٦۲	۳۲۹/۰۲	۳٥۹/۸۷	۳۳۹/۳۱	۲۲٦/۲۰	۲٥٤/۲۳	۹۲/٥٤
SCC2	٤۲۷/۷۷	۹٥/۰٦	۱۹۸/۷٥	٤/٥	۳۹۳/۸۲	۳۲٥/۹۲	۲۷۱/٦۰	۲۸٥/۱۸	۱٦۲/۹٦	۱۳۸/۸
SCC3	٤۳٥/۸	۹۰/٦٤	۲۲۳/۷۹	۳/۸۸	۳٤۹/۲۸	۳۲۳/۹	۲۸٥/۲۲	۲٥۸/٦۳	۱٥٥/۹۱	۱۹۲/۳۲
SCM1	۳٤۷/۸	۱۸۸	۲۱۲/٥	٥	–	۳۹٤/۸	٤۲۳	۳٥۷/۲	۲۱٦/۲	۱٤۱
SCM2	٤۱۹/۰٤	۱۲۱/۰٦	۲۳۷/٥	٦/۳۸	–	۳٤٤/٥٤	۳٥۳/۸٦	۳٤٤/٥٤	۲۷۹/۳٦	۱۸٦/۲٤
SCM3	٤۷۰	۱٤۱	۲۱۲/۱	٤/٦۳	–	۳٦٦/٤	۳۷٦	۳۲۹	۲۰٦/۸	۱٤۱

W: مقدار آب، G: شن، S: ماسه، FA: مقدار خاکستر بادی، C: مقدار سیمان، SP: مقدار فوق روان کننده (همه به Kg/m^3)، اعداد نوشته شده در مقابل S و G مربوط به اندازه آن ها به میلی متر می‌باشد.

جدول ۲ نسبت های مهم در طرح اختلاط بتن ها و ملات های خود متراکم به کار گرفته شده

نمونه	W/P	A/P	f'_c	A	FA/C
SCC1	۰/٤۳	۲/۷۱	۳٥/۷٥	۱٥۰۱/۱۷	۰/٦۹
SCC2	۰/۳۸	۳/۰۱	٥۲/٦۳	۱٥۷٥/۲۸	۰/۲۲
SCC3	۰/٤۲	۲/۸٦	٤۱/۷۷	۱٥۰۲/۲٦	۰/۲۱
SCM1	۰/٤۰	۲/۸٦	٤۰/۲۷	۱٥۳۲/۲	۰/٥٤
SCM2	۰/٤۳	۲/۷۹	٤۳/۳۷	۱٥۰۸/٥٤	۰/۲۹
SCM3	۰/۳٥	۲/۳۲	٤۸/۷٦	۱٤۱۹/۲	۰/۳

f'_c : مقاومت فشاری نمونه مکعبی ۱۰×۱۰×۱۰ سانتی متر، در سن ۲۸ روزه بر حسب MPa، A: مقدار سنگدانه بر حسب Kg/m^3

جدول ۳ نتایج آزمایش های بتن خود متراکم در حالت تازه (جریان اسلامپ، T_{500} ، قیف V شکل و V_5)

نمونه	SF (mm)	T_{500} (sec)	V-Funnel (sec)	V_5-Funnel (sec)
SCC1	۷۱۰	٤	۸/۹	۱٤/۱
SCC2	٦۱۰	٤/۹	۱۸/٦	۲۳/۳
SCC3	٦۷۰	٤/۸	۲۲/٤	۲٤/۹
SCM1	٥٦۰	٥/۱	۲۱/۷	٥۲/۲
SCM2	٦۸۰	۳/۹	۱٤/۷	۱۸/۸
SCM3	۷۰۰	۳/۳	۱۰/٥	۱٤/۳

چون در استانداردهادرخصوص دانه بنـدی، قیـد و بند مشخصی پیشنهاد نگردیده است، دانه بندی بـه گونـه ای انتخاب گردیده است تا مشخصات بتن خـود متـراکم تر، در محدوده قابل قبـول قـرار گیـرد. در جـدول هـای مربوطه، G برای درشت دانه و S برای نـشان دادن ماسـه به کار گرفته شده است. همان‌گونه که در جدول (۲) درج گردیده است، مقاومت فشاری نمونه هـای سـاخته شـده بین ۳٥ تا ٥۲ مگا پاسکال قرار دارد که در محدوده بالای مقاومتی است. با توجه به این مقاومت ها باید توجه شود که اگر بتن بستر دارای مقاومتی کمتر از این مقاومـت هـا

باشد، در حین انجام آزمایش ها، شکست در لایه تعمیری اتفاق افتاده و عملا نمی توان چسبندگی بین لایه تعمیری و بستر بتن قدیم را به دست آورد.

همچنین برای ساخت نمونه ها از سیمان پرتلند تیپ ۲ آبیک و از فوق روان کننده Super Viscos1 نامیکاران استفاده گردید. سنگدانه های استفاده شده در این تحقیقات نیز از معدن قسم استان قزوین تهیه گردید و دانه بندی آن ها مطابق جداول (٤) و (٥) می باشد.

با توجه به نتایج مندرج در جدول (۳)، می‌توان مشاهده نمود که مخلوط های انتخابی، ویژگی های بتن خود متراکم را داراست.

روش پیچش

این روش که در زمره آزمون‌های نیمه مخرب با خرابی جزیی می باشد، دارای مزایای زیادی است؛ از قبیل: سرعت، دقت، هزینه کم، سادگی و کاربرد وسیع، هم در آزمایشگاه و هم در کارگاه. در مورد سادگی کار همین بس که برای انواع سطوح افقی، عمودی و... اجراشده بتن، به سادگی و بدون نیاز به آموزش‌های قبلی پرسنل، می‌توان این آزمایش را انجام داد [11]. محل انجام تست باید صاف و مسطح باشد. ناصافی و آلودگی سطح بتن باعث جلوگیری از عملکرد مطلوب چسب می‌شود. ابتدا باید دو جزء چسب را به طور دقیق به نسبت ۱ به ۳ مخلوط کرد تا ترکیب همگن و یک‌رنگی به دست آید. سپس استوانه‌ها توسط این مخلوط به سطح نمونه که قبلا مغزه جزیی با قطر ۵۰ میلی متر و تا عمق ۲۵ میلی متر از سطح بتن در آن ایجاد شده چسبانده می‌شوند. پس از چند دقیقه بایستی اضافات چسب را که از اطراف استوانه بیرون زده، تمیز نمود تا انتقال تنش به بتن در سطحی به اندازه قاعده استوانه صورت گیرد. سپس نمونه‌ها به مدت یک روز در هوای آزاد قرار داده می‌شوند تا گیرش کامل چسب انجام شود. بعد از گیرش چسب به این سیستم، توسط ترکمتر به طور پیوسته و تدریجی، گشتاور پیچشی وارد می‌شود تا بتن زیر استوانه گسیخته شود. لنگر قرائت‌شده به عنوان لنگر گسیختگی ثبت می گردد. لازم به تذکر است چنانچه شکست از ناحیه چسب صورت بگیرد، تست مردود است. البته اگر چسب به طور مناسب مخلوط شده باشد و پس از چسباندن کاملاً خشک شود، این اتفاق، کمتر رخ می‌دهد [۱۲].

روش انتقال اصطکاک

این روش نیز در زمره آزمون‌های نیمه مخرب با خرابی جزیی می باشد و شامل تعبیه مغزه جزیی با قطر ۵۰ میلی متر و تا عمق ۲۵ میلی متر از سطح بتن و سپس نصب گیره فلزی بر روی این مغزه و تثبیت آن توسط پیچ های طرفین می‌باشد. اعمال نیروی پیچشی با یک پیچش سنج معمولی به صورت یکنواخت که تا مرز گسیخته شدن مغزه جزیی ادامه یافته و لنگری که باعث گسیخته شدن شده است ثبت می گردد [13].

تعیین چسبندگی بین بتن و لایه تعمیری

با استفاده از اره الماسه، مکعب های بتنی ۱۵×۱۵×۱۵ سانتی متر با مقاومت فشاری بالا به سه منشور ۱۵×۱۵×۵ سانتی متر تقسیم گردیدند. برخلاف سطوح به دست آمده از قلم و چکش و مته های بادی و برقی، سطح بریده شده با اره الماسه، به دلیل عدم آسیب (یا آسیب بسیار ناچیز) به چسبندگی بین سنگدانه ها و خمیره سیمان، دارای مقاومت بسیار بالاست و به هنگام اندازه گیری چسبندگی لایه تعمیری اعمال شده به چنین سطحی، از عدم وقوع شکست در بتن (به جز در موارد خاص) اطمینان حاصل می گردد. پس از بریدن، بتن های بستر را با برس زدن و شستن با آب از هر گونه گل و لای و گرد و خاک تمیز کرده وشرایط سطوح آماده می‌گردد. شرایط سطوح عبارتند از : بتن خشک با سطح خشک، بتن خشک با سطح دوغابی، بتن اشباع با سطح خشک، بتن اشباع با سطح خیس و بتن اشباع با سطح دوغابی. سپس بتن و ملات خود متراکم ساخته شده، بر روی سطح بتنی که از قبل آماده و قالب بندی شده بودند ریخته می‌شود

(شکل(۱)). این بسترها دارای مقاومت فشاری بالایی هستند تا شکست در بتن پایه به حداقل برسد. پس از عمل آوری نمونه ترکیبی به مدت ۲۸ روز، مغزه گیری به قطر ۵ سانتی متر از نمونه ها انجام شد. این مغزه گیری طوری صورت گرفت که در بتن بستر نیز وارد شود. در نهایت، با استفاده از روش های انتقال اصطکاک و پیچش، چسبندگی بین لایه تعمیری و بستر بتنی تعیین شد (شکل‌های (۲) و (۳)). نمونه هایی که گسیختگی در آنها تنها در بتن پایه یا لایه تعمیری اتفاق افتاد در تعیین چسبندگی مورد استفاده قرار نگرفته است.



شکل ۱ لایه خود متراکم تعمیری اعمال شده به ضخامت ۲ سانتی متر روی بتن بستر با ضخامت ۵ سانتی متر.



الف) نصب گیره فلزی



ب) اعمال لنگر پیچشی



ج) لایه تعمیری پس از انجام آزمون

شکل ۲ انجام آزمون انتقال اصطکاک



الف) چسباندن استوانه های فلزی روش پیچش به نیم مغزه ها



ب) لایه تعمیری پس از انجام آزمون

شکل ۳ نحوه انجام آزمون پیچش

در روش پیچش به علت ایجاد تنش کششی ناشی از پیچش خالص در مغزه، نمونه، با زاویه ٤۵ درجه گسیخته می‌شود، ولی در روش انتقال اصطکاک به علت ایجاد یک نیروی فشاری ناشی از محکم کردن پیچ های گیره فلزی، قسمتی از این تنش کششی، خنثی شده و لذا درصد شکست از مرز، در روش انتقال اصطکاک نسبت به روش پیچش بیشتر است.

تحلیل آماری

با در نظر گرفتن عواملی که در نتایج به دست آمده تـأثیر گذار می باشند، با اسـتفاده از تحلیـل آمـاری (رگرسـیون خطی)، به کمک نرم افزار SPSS 17 درجـه اهمیـت هـر پارامتر موثر، مورد بررسی قرار گرفت. به نظـر مـی رسـد اهم پارامترهای تأثیر گذار در مقدار چسبندگی عبارتند از: شرایط سـطحی بـتن بـستر، نـوع (بـتن یـا مـلات) لایـه تعمیری، اشباع یا خشک بودن بتن بستر، مقاومت فشاری لایه تعمیری و نسبت سنگدانه به خمیره در لایه تعمیـری. تحلیل های انجام گرفته بـا اسـتفاده از رگرسـیون خطـی فرمول زیر را برای تخمین چسبندگی بـین لایـه تعمیـری خود متراکم و بتن بستر حاصل نمود:

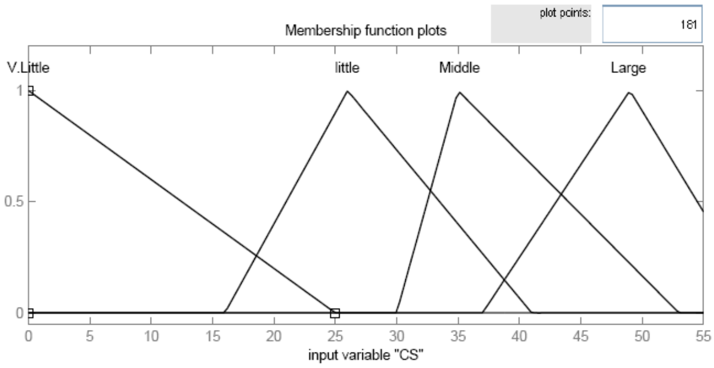
$$T = 1.3558\,(-144.193 + 12.808(SC) + 7.389(SorD) + 1.411(CS) + 2.823\,(CorM) + 18.756\,(Method) + 35.646\,(AtoP))$$

در رابطه فوق، T: لنگر پیچشی حاصله (بر حـسب Nm)، SC: شرایط سطحی بتن بستر (خشک = ۱، دوغابی = ۲ و خـیس = ۳)، CorM: بـتن یـا مـلات بـودن لایـه تعمیری (ملات = ۱ و بتن = ۲)، SorD: اشباع یا خـشک بودن بتن بستر (خشک = ۱ و اشباع = ۲)، CS: مقاومـت فشاری لایه تعمیـری (بـر حـسب MPa)، AtoP: نـسبت سنگدانه به خمیره و Method: روش انجام تست (انتقـال اصطکاک = ۱ و پیچش = ۲) می باشند.

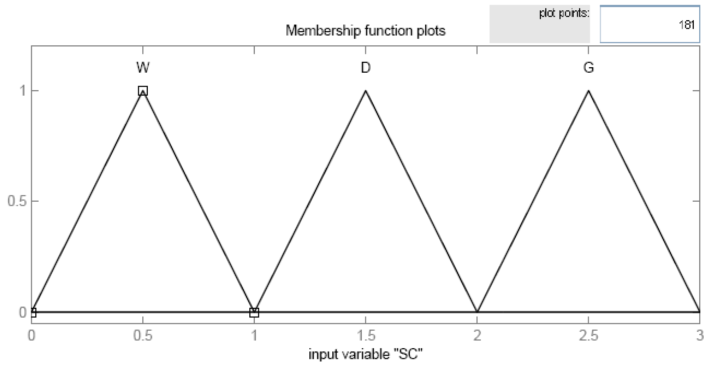
مدل فازی

تئوری مجموعه‌های فازی، اولین بار در سال ۱۹٦٥ توسط پروفسور لطفی عسکرزاده پایه‌گذاری شـد. پـس از چنـد سال و در اوایل دهه هفتاد، با مطرح شـدن منطـق فـازی، اولین کاربردهـای ایـن تئـوری در علـوم مهندسـی ارایـه گردید. از آن زمـان بـه بعـد شـاهد گـسترش روزافـزون جنبه‌های تئـوری و عملـی آن توسـط دانـشمندان علـوم مختلف بوده‌ایـم بـه طـوری کـه امـروزه تقریبـاً در تمـام عرصـه‌هـای صـنعت و دانـش، از ایـن تئـوری اسـتفاده می‌گردد. مهمترین ویژگی منطق فازی در مقایسه با منطـق کلاسیک این است که دانش و تجربه بشر را می‌تواند در قالب روابط ریاضی بیان نماید. این مهـم باعـث گردیـده است که مسایل موجود در دنیای واقعی را به خوبی بتوان با استفاده از آن مدل‌سازی نمود. سیـستم اسـتنتاج فـازی (FIS) براساس قواعد "اگر– آن‌گاه" بنا نهاده شده اسـت، به طوری که با استفاده از قواعد مزبور می‌توان ارتباط بین تعـدادی متغیـر ورودی و خروجـی را بـه دسـت آورد. بنابراین از FIS می‌توان به عنوان یک مدل پیش‌بینی بـرای شرایطی که داده‌های ورودی و یا خروجی که دارای عدم قطعیت بالایی باشـند اسـتفاده نمـود؛ چـرا کـه در چنـین شرایطی روش‌های کلاسیک پیش‌بینـی، نظیـر رگرسـیون نمی‌تواند به خوبی عدم قطعیت‌های موجود در داده‌هـا را در نظر بگیـرد. بـرای توسـعه سیـستم اسـتنتاج فـازی از عملگرهای استلزام فازی و ترکیب روابط فـازی اسـتفاده مـی‌گـردد [14]. در مـوارد متعـددی اسـتفاده از سیـستم استنتاج فازی در پژوهش‌های مربوط به بتن و پیش بینـی نتایج حاصل از آزمایش‌ها، با موفقیت انجام پذیرفته است [15,16].

در این مطالعه از سیستم اسـتنتاج فـازی بـا رابطـه فازی مینیمم– ماکزیمم استفاده شده است. برای غیر فازی کردن نتایج نیز از روش مرکز سطح، استفاده شـده اسـت. همچنین روش استلزام فازی ممدانی به کـار گرفتـه شـده است. در شکل های (٤) تا (٩) تابع عضویت ورودی هـا و خروجی سیستم فازی به کارگرفته شده، نشان داده شده اسـت. در شـکل (١٠) نیـز اسـتفاده از ٩٧ قـانون "اگـر– آنگاه" ساخته شده در مدل برای ارتباط دادن ورودی هـا با خروجی مدل و تعیین نتایج ملاحظه می شود.

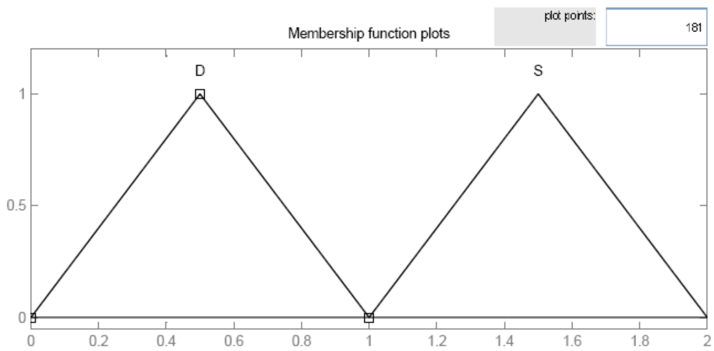


شکل ٤ تابع عضویت ورودی اول مدل فازی: مقاومت فشاری لایه خود متراکم تعمیری



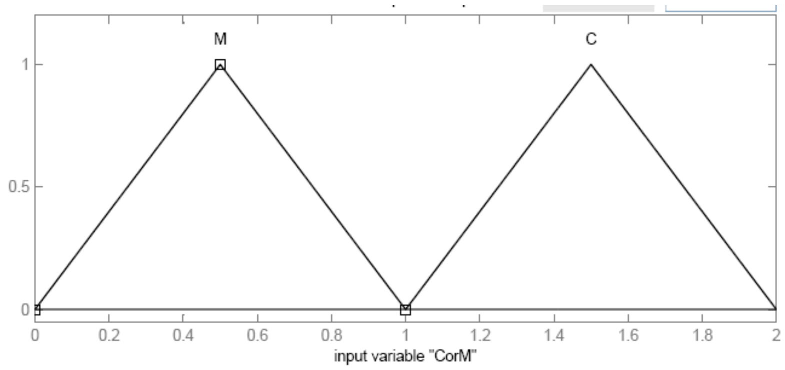
شکل ٥ تابع عضویت ورودی دوم مدل فازی: شرایط سطحی بتن بستر

W: مرطوب، D: خشک و G: دوغابی

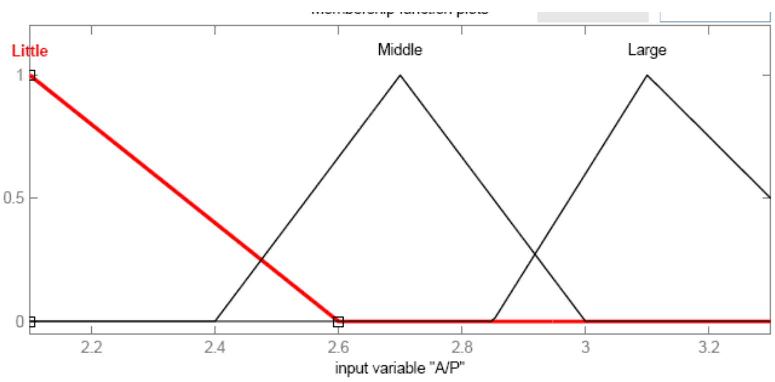


شکل ٦ تابع عضویت ورودی سوم مدل فازی: اشباع یا خشک بودن بتن بستر

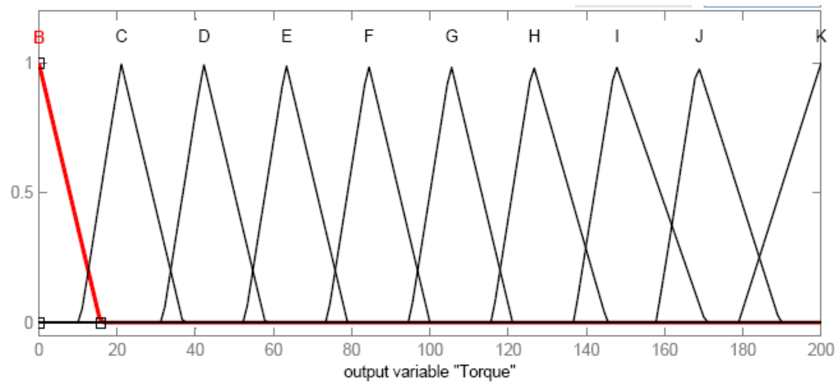
D: خشک و S: اشباع



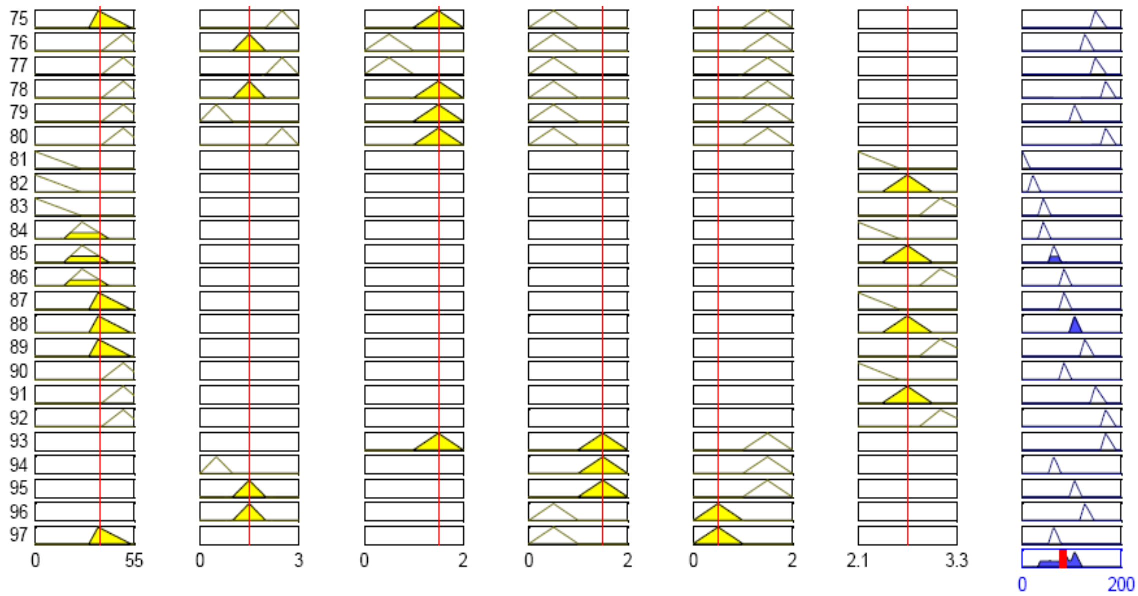
شکل ۷ تابع عضویت ورودی چهارم مدل فازی: بتن یا ملات بودن لایه خود متراکم تعمیری
M: ملات و C: بتن



شکل ۸ تابع عضویت ورودی پنجم مدل فازی: نسبت سنگدانه به خمیره در لایه خود متراکم تعمیری



شکل ۹ تابع عضویت تنها خروجی مدل فازی: لنگر پیچشی حاصله



شکل ۱۰ تعیین نتایج حاصل از منطق فازی با استفاده از ۹۷ قانون اگر- آنگاه

نتایج آزمایشگاهی و نتایج حاصل از رگرسیون خطی و منطق فازی

در جدول‌های (٤) تا (٧) نتایج حاصل از آزمایش ها، تحلیل رگرسیون خطی و مدل فازی و همچنین درصد خطای اعداد حاصل از رگرسیون خطی و مدل فازی نسبت به نتایج حاصل از آزمایش ها آورده شده است.نمودار شکل(۱۱) ارتباط بین نتایج آزمایشگاهی و نتایج حاصل از مدل فازی را نشان می دهد.

بررسی نتایج مندرج در جدول (٤) نشان می دهد که در بین سطوح مختلف به کار گرفته شده در این تحقیقات، چسبندگی بتن های خود متراکمی که به سطح بتنی اشباع خیس و سطح خشک خشک اعمال شده اند، کمترین مقدار را دارا می باشند. با توجه به این نتایج، شاید بتوان گفت که عدم وجود رطوبت کافی به اندازه وجود رطوبت زیاد برای کسب چسبندگی مضر می باشد.

البته فرق اساسی در این است که با سطح خشک، رطوبت موجود در لایه تعمیری توسط سطح خشک جذب شده و لذا رطوبتی برای عمل هیدراسیون کافی باقی نمی‌ماند و همین امر باعث کاهش چسبندگی می گردد.

هنگامی که سطح بتن بستر دارای رطوبت زیاد باشد، تأثیر منفی در مقاومت لایه تعمیری و در نتیجه تأثیر منفی در مقدار چسبندگی لایه تعمیری خواهد داشت.

نکته قابل توجه دیگری که می توان از نتایج جدول (٤) مشاهده نمود، چسبندگی بالای بتن خود متراکم به سطح بتنی اشباع با دوغاب اعمال شده می باشد. علت عمومی این امررا می توان در نفوذ دوغاب به سطح بتنی دانست که باعث قفل و بست مکانیکی بالا، بین لایه تعمیری و بستر می گردد.

جدول ٤ نتایج آزمایشگاهی و اعداد حاصل از رگرسیون خطی و مدل فازی و نیز مقدار خطای رگرسیون خطی و مدل فازی چسبندگی بتن تعمیری حاصل از روش پیچش

نمونه	شرایط بتن بستر	قرائت آزمایشگاهی گشتاور (Nm)	حاصل رگرسیون خطی (Nm)	حاصل فازی (Nm)	درصد خطای رگرسیون خطی	درصد خطای فازی
SCC1	خشک با سطح خشک	۱۱٥/۲٤	۱۰۷/۱۳	۱۱۳	۷/۰٤	۱/۹٤
	خشک با سطح دوغابی	۱۲۳/۳۸	۱۲٤/٤۹	۱۲٥	۰/۹۰	۱/۳۱
	اشباع با سطح خشک	۱۲۲/۰۲	۱۱۷/۱٥	۱۲۱	۳/۹۹	۰/۸۰
	اشباع با سطح خیس	۸٦/۳۲	۹۹/۷۸	۹۹/٥	۱٥/٥۹	۱٥/۲۷
	اشباع با سطح دوغابی	۱۳۲/۸۷	۱۳٤/٥۱	۱۳۳	۱/۲۳	۰/۱۰
SCC2	خشک با سطح خشک	۱٤٤/٦۲	۱٥۳/٥۲	۱٤۲	٦/٤۳	۱/۸۱
	خشک با سطح دوغابی	۱۷۳/٥٤	۱۷۱/۲۸	۱۷۳	۱/۳۰	۰/۳۱
	اشباع با سطح خشک	۱٦٤/۹٦	۱٦۳/۹۸	۱٥۷	۰/٦۲	٤/۸۳
	اشباع با سطح خیس	۱٤٥/۹۸	۱٤٦/٥۷	۱۳٦	۰/٤۰	٦/۸٤
	اشباع با سطح دوغابی	۱۸۲/٥۹	۱۸۱/۳۰	۱۷۹	۰/۷۱	۱/۹۷
SCC3	خشک با سطح خشک	۱۲۳/۳۸	۱۲٥/۸۹	۱۳۳	۲/۰۳	۷/۹۸
	خشک با سطح دوغابی	۱٥۹/۹۸	۱٤۳/۲٦	۱٥٤	۱۰/٤٥	۳/۷٤
	اشباع با سطح خشک	۱۳۲/۱۹	۱۳٥/۹۱	۱٤۳	۲/۸۱	۸/۱۸
	اشباع با سطح خیس	۱۳۲/۸۷	۱۱۸/٥٥	۱۲۲	۱۰/۷۸	۸/۱۸
	اشباع با سطح دوغابی	۱٦۲/۷۲	۱٥۳/۲۸	۱٥۷	٥/۷۹	۳/٥۰

جدول ٥ نتایج آزمایشگاهی و اعداد حاصل از رگرسیون خطی و مدل فازی و نیز مقدار خطای رگرسیون خطی و مدل فازی چسبندگی ملات تعمیری حاصل از روش پیچش

نمونه	شرایط بتن بستر	قرائت آزمایشگاهی گشتاور (Nm)	حاصل رگرسیون خطی (Nm)	حاصل فازی (Nm)	درصد خطای رگرسیون خطی	درصد خطای فازی
SCM1	خشک با سطح خشک	۱۱٦/٦۰	۱۱۹/۲۰	۱۱۲	۲/۲۳	۳/۹٥
	خشک با سطح دوغابی	۱۲۸/۱۸	۱۳٦/٥٦	۱۳٦	۹/۰۹	۸/٦٤
	اشباع با سطح خشک	۱۲۰/٦۷	۱۲۹/۲۱	۱۱۹	۷/۰۸	۱/۳۸
	اشباع با سطح خیس	۱۱۲/٥۳	۱۱۱/۸٥	۱۰۸	۰/٦۰	٤/۰۳
	اشباع با سطح دوغابی	۱٤۱/٤٥	۱٤٦/٥۸	۱۳۹	۳/٦۳	۱/۷۳
SCM2	خشک با سطح خشک	۱۱۲/۹۸	۱۲۱/۷٤	۱۲٦	۷/۷٥	۱۱/٥۲
	خشک با سطح دوغابی	۱٤٥/۰۷	۱۳۹/۱۱	۱٤۱	٤/۱۱	۲/۸۱
	اشباع با سطح خشک	۱۳۸/۷٤	۱۳۱/۷٦	۱۳۹	٥/۰۳	۰/۱۹
	اشباع با سطح خیس	۱۳۲/۸۷	۱۱٤/٤۰	۱۲۲	۱۳/۹۰	۸/۱۸
	اشباع با سطح دوغابی	۱٤۹/۱٤	۱٤۹/۱۳	۱٤۸	۰/۰۱	۰/۷٦
SCM3	خشک با سطح خشک	۸٤/۰٦	۱۰۹/۳٤	۱۰۹	۳۰/۰۷	۲۹/٦۷
	خشک با سطح دوغابی	۱۳۰/٦۰	۱۲٦/۷۱	۱۲۷	۲/۹۸	۲/۷٦
	اشباع با سطح خشک	۱۳۰/۸۳	۱۱۹/۳٦	۱۳۰	۸/۷۷	۰/٦۳
	اشباع با سطح خیس	۹٤/۹۱	۱۰۱/۹۹	۹۸/۱	۷/٤٦	۳/۳٦
	اشباع با سطح دوغابی	۱۳۱/٥۱	۱۳۳/۷۲	۱۳۷	۳/۹٦	٤/۱۷

بررسی نتایج جدول (۵) بیانگر آن است که مانند نتایج به دست آمده از به کار گیری بتن به عنوان ماده تعمیری، سطح بتنی خشک و سطح بتنی اشباع خیس، کمترین مقدار چسبندگی را عاید نموده اند. همچنین می توان مشاهده نمود که سطوح بتنی اشباع با دوغاب اعمال شده بر آن، بیشترین مقدار چسبندگی را تولید نموده اند. دلایل ارایه شده در ارتباط با نتایج جدول (٤) را می توان به نتایج جدول (٥) نیز تعمیم داد.

مقایسه نتایج مندرج در جداول (٦) و (٧) با نتایج جداول (٤) و (٥)، بیانگر آن است که بین نتایج به دست آمده از دو روش "پیچش" و "انتقال اصطکاک"، همبستگی بسیار خوبی و جود دارد. نتایج به دست آمده از روش انتقال اصطکاک نشان می‌دهد که بالا بودن مقادیر چسبندگی سطوح اشباع با دوغاب اعمال شده بر آن‌ها بیش از سایر سطوح می‌باشد. این نتایج همچنین نشان دهنده چسبندگی کم سطوح خشک خشک و اشباع خیس می‌باشد. مقایسه مقادیر چسبندگی ملات های مصرفی با مقادیر چسبندگی بتن های به کار گرفته شده نیز حاکی از روند مقادیر چسبندگی مشابه برای سطوح با شرایط مختلف می‌باشد. همچنین از نتیجه این جدول‌ها می‌توان مشاهده نمود که اعمال دوغاب قبل از اعمال لایه تعمیری باعث افزایش مقاومت چسبندگی لایه تعمیری می‌گردد.

جدول ٦ نتایج آزمایشگاهی و اعداد حاصل از رگرسیون خطی و مدل فازی و نیز مقدار خطای رگرسیون خطی و مدل فازی چسبندگی بتن تعمیری حاصل از روش انتقال اصطکاک

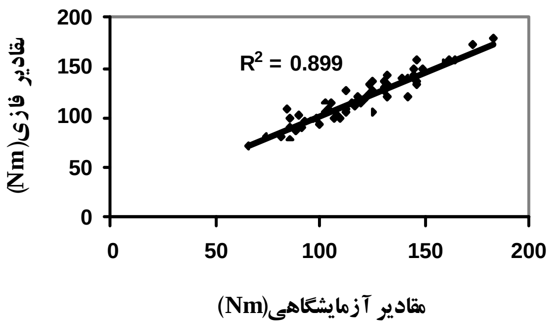
نمونه	شرایط بتن بستر	قرائت آزمایشگاهی گشتاور (Nm)	حاصل رگرسیون خطی (Nm)	حاصل فازی (Nm)	درصد خطای رگرسیون خطی	درصد خطای فازی
SCC1	خشک با سطح خشک	۸۱/۳۵	۸۱/۷۰	۸۱/٤	۰/٤۳	۰/۰٦
	خشک با سطح دوغابی	۸۵/۸٦	۹۹/۰٦	۹۸/۸	۱۵/۳۷	٤/۵۹
	اشباع با سطح خشک	۷۳/٦٦	۹۱/۷۲	۸۱/٤	۲٤/۵۲	۱۰/۵۱
	اشباع با سطح خیس	٦۵/۰۸	۷٤/۳۸	۷۱/٤	۱٤/۲٤	۹/۷۱
	اشباع با سطح دوغابی	۸۹/٤۸	۱۰۹/۰۸	۱۰۲	۲۱/۹۰	۱۳/۹۹
SCC2	خشک با سطح خشک	۱۲۵/۱۸	۱۲۸/٤۹	۱۲۷	۲/٦٤	۱/٤۵
	خشک با سطح دوغابی	۱٤۵/۵۲	۱٤۵/۸۵	۱٤۸	۰/۲۳	۱/۷۰
	اشباع با سطح خشک	۱۳۱/۰۷	۱۳۸/۵۱	۱۳۷	۵/٦۸	٤/۵۲
	اشباع با سطح خیس	۱۰۳/۰٤	۱۲۱/۱٤	۱۱٦	۱۷/۵۷	۱۲/۵۸
	اشباع با سطح دوغابی	۱٤٦/٤۳	۱۵۵/۸۷	۱۵۹	٦/٤۵	۸/۵۸
SCC3	خشک با سطح خشک	۱۰۸/٤٦	۱۰۰/٤٦	۱۰٤	۷/۳۸	٤/۱۱
	خشک با سطح دوغابی	۱٤۱/۹۱	۱۱۷/۸۳	۱۲۲	۱٦/۹۷	۱۳/۳۹
	اشباع با سطح خشک	۱۲٦/۰۹	۱۱۰/٤۸	۱۰۷	۱۲/۳۸	۱۵/۱٤
	اشباع با سطح خیس	۹۹/۸۸	۹۳/۱۲	۹۲/۷	٦/۷۷	۷/۱۹
	اشباع با سطح دوغابی	۱٤۵/۹۸	۱۲۷/۸۵	۱۳٤	۱۲/٤۲	۸/۲۱

جدول ۷ نتایج آزمایشگاهی و اعداد حاصل از رگرسیون خطی و مدل فازی و نیز مقدار خطای رگرسیون خطی و مدل فازی چسبندگی ملات تعمیری حاصل از روش انتقال اصطکاک

نمونه	شرایط بتن بستر	قرائت آزمایشگاهی گشتاور (Nm)	حاصل رگرسیون خطی (Nm)	حاصل فازی (Nm)	درصد خطای رگرسیون خطی	درصد خطای فازی
SCM1	خشک با سطح خشک	۹۰/۸۴	۹۳/۷۷	۸۹/۷	۳/۲۳	۱/۲۵
	خشک با سطح دوغابی	۱۱۲/۹۸	۱۱۱/۱۳	۱۰۷	۱/۶۴	۵/۲۹
	اشباع با سطح خشک	۱۰۶/۲۰	۱۰۳/۷۸	۹۹/۹	۲/۲۸	۵/۹۳
	اشباع با سطح خیس	۸۸/۱۳	۸۶/۴۲	۸۸	۱/۹۴	۰/۱۵
	اشباع با سطح دوغابی	۱۱۹/۷۶	۱۲۱/۱۵	۱۱۵	۱/۱۶	۳/۹۷
SCM2	خشک با سطح خشک	۹۸/۹۷	۹۶/۳۱	۹۸/۲	۲/۶۹	۰/۷۸
	خشک با سطح دوغابی	۱۱۴/۸۰	۱۱۳/۶۸	۱۱۶	۰/۹۸	۱/۰۵
	اشباع با سطح خشک	۱۰۳/۴۹	۱۰۶/۳۳	۱۰۸	۲/۷۴	۴/۳۶
	اشباع با سطح خیس	۹۲/۸۷	۸۸/۹۷	۹۸	۴/۲۰	۵/۵۲
	اشباع با سطح دوغابی	۱۱۸/۴۰	۱۲۳/۷۰	۱۲۱	۴/۴۸	۲/۲۰
SCM3	خشک با سطح خشک	۸۸/۸۰	۸۳/۹۱	۸۸/۱	۵/۵۱	۴/۰۵
	خشک با سطح دوغابی	۱۰۲/۱۳	۱۰۱/۲۸	۱۰۵	۰/۸۳	۲/۸۱
	اشباع با سطح خشک	۱۰۹/۸۲	۹۳/۹۳	۹۹/۶	۱۴/۴۷	۹/۳۱
	اشباع با سطح خیس	۸۵/۴۲	۷۶/۵۶	۷۹/۱	۱۰/۳۷	۷/۴۰
	اشباع با سطح دوغابی	۱۰۵/۳۰	۱۱۱/۲۹	۱۱۴	۵/۶۹	۸/۲۶

بررسی نتایج مندرج در جدول‌های (۴-۷) و نسبت‌های طرح‌های اختلاط بیانگر آن است که با افزایش نسبت سنگدانه به خمیره در لایه تعمیری خود متراکم، چسبندگی این لایه به بستر بتنی افزایش می یابد. همچنین بررسی‌های بیشتر نشان می دهد که چسبندگی بتن خود متراکم به بتن بستر به مقدار بسیار کمی بیشتر از ملات خود متراکم می باشد.

مقایسه نتایج به دست آمده از دو روش "پیچش" و "انتقال اصطکاک" نشان می‌دهد که در روش پیچش به علت ایجاد تنش کششی ناشی از پیچش خالص در مغزه، نمونه، با زاویه ٤٥ درجه گسیخته می شود، ولی در روش انتقال اصطکاک به علت ایجاد یک نیروی فشاری ناشی از محکم کردن پیچ های گیره فلزی، قسمتی از این تنش کششی، خنثی شده و لذا درصد شکست از مرز در روش انتقال اصطکاک نسبت به روش پیچش بیشتر می گردد.



شکل ۱۱ ارتباط بین نتایج آزمایشگاهی و مدل فازی

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.923[a]	.851	.835	7.68536

a. Predictors: (Constant), AtoP, METHOD, SorD, CS, SC, CorM

شکل ۱۲ مقدار R^2 تحلیل رگرسیون خطی

همانطور که از شکل‌های (۱۱) و (۱۲) مشهود

است، مدل فازی، مدل مناسبی برای آزمایش های انجام گرفته است. با توجه به R^2 مدل رگرسیون خطی (برابر ۰/۸۵۱) و R^2 مدل فازی (برابر ۰/۸۹۹) می توان نتیجه گرفت که مدل به دست آمده از منطق فازی با نتایج آزمایشگاهی، هماهنگی بیشتری دارد.

در حین انجام آزمایش ها مشخص شد که در صورتی که دوغاب اعمال شده به سطح بستر بتنی قبل از اعمال لایه تعمیری بتنی خشک شود، نه تنها اثر مثبتی در چسبندگی ندارد بلکه باعث کاهش شدید چسبندگی دو لایه خواهد شد. بنابراین در این تحقیق هر جا که سطح لایه بستر اندود شده با دوغاب باشد، پیش از خشک شدن آن، لایه تعمیری روی آن اعمال شده است. می توان دریافت که تأثیر دوغابی بودن سطح (به شرط اینکه تا این دوغاب خشک نشده لایه تعمیری اعمال گردد) بسیار بالا است و حتی وقتی بتن بستر خشک می باشد، در صورت اعمال دوغاب بر روی آن، چسبندگی به مقدار قابل توجهی افزایش می یابد (حدود ۱۵ تا ۲۵ درصد).

نتیجه گیری

۱. با افزایش مقاومت فشاری بتن و ملات خود متراکم به عنوان لایه تعمیری، چسبندگی این لایه به بتن بستر بیشتر می گردد.

۲. با اشباع کردن بستر بتنی پیش از اعمال لایه تعمیری، چسبندگی لایه تعمیری به بتن بستر افزایش می یابد.

۳. حالت سطح بتن بستر تأثیر زیادی بر چسبندگی لایه تعمیری بر بتن بستر دارد. با این که سطح اندود شده به دوغاب سیمان بهترین چسبندگی را ایجاد می‌نماید، سطح خشک وخشک، و سطح خیس، کمترین چسبندگی را تولید می نماید.

٤. براساس نتایج به دست آمده، به ترتیب بیشترین مقدار چسبندگی برای حالت بستر اشباع با سطح دوغابی، سپس بستر خشک با سطح دوغابی، بستر اشباع با سطح خشک، بستر خشک با سطح خشک و کمترین چسبندگی را بستر اشباع با سطح خیس تولید نمودند. این ترتیب نشان دهنده تأثیر مثبت زیاد سطح دوغابی و تأثیر منفی زیاد سطح خیس بر چسبندگی می باشد.

۵. به کمک ضریبی به نام بتا که نشان دهنده میزان تغییر متغیر پاسخ به ازای تغییری به اندازه یک انحراف معیار در متغیر مستقل است، عوامل تأثیر گذار بر مقاومت لایه تعمیری خود متراکم بر بستر بتنی و ضرایب اهمیت آنها به ترتیب زیر می باشد:
شرایط سطحی بتن بستر (٦/٨٣)، مقاومت فشاری لایه تعمیری (٥/٥٦)، نسبت سنگدانه به خمیره (٥/٨٤)، اشباع یا خشک بودن بتن بستر (٢/٥٧)، بتن یا ملات بودن لایه تعمیری (١).

٦. با مقایسه مقدار درصد خطا و ضریب R^2 نتایج مدل فازی نسبت به مدل رگرسیون خطی می توان دریافت که مدل فازی، پیش بینی بهتری از نتایج آزمایشگاهی دارد.

۷. با افزایش نسبت سنگدانه به خمیره در لایه تعمیری خود متراکم، چسبندگی این لایه به بستر بتنی افزایش می یابد.

۸. چسبندگی بتن خود متراکم به بتن بستر به مقدار بسیار کمی بیشتر از ملات خود متراکم است.

۹. در روش پیچش به علت ایجاد تنش کششی ناشی از پیچش خالص در مغزه، نمونه، با زاویه ٤٥ درجه گسیخته می‌شود، ولی در روش انتقال اصطکاک به علت ایجاد یک نیروی فشاری ناشی از محکم کردن پیچ های گیره فلزی، قسمتی از این تنش کششی، خنثی شده و لذا درصد شکست از مرز در روش انتقال اصطکاک نسبت به روش پیچش بیشتر است.

مراجع

1. Pade Clans, Thrane Lars Nyholm, V. Nielsen Claus, Guidelines for Execution of SCC, Danish Technological Institute, (2008).

2. Pade Clans, Thrane Lars Nyholm, V. Nielsen Claus, Guidelines for Mix Design of SCC, Danish Technological Institute, (2008).
3. Baton Ronge River Center, *Lousiana Transportation Engineering Conference*, (2007).
٤. نادری، محمود، "تعیین چسبندگی واقعی سیستم های مختلف تعمیرات بتنی با به کارگیری روش جدید انتقال اصطکاک"، نشریه دانشکده مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد، سال نوزدهم، شماره یک، (١٣٨٦).
5. Eduardo, N. B. S. Julio, Fernando, A.B. Branco, Vitor, D. Silva, "Concrete-to-concrete bond strength. Influence of roughness of the substrate surface", Construction and Building Materials 18, pp. 675-681, (2004).
6. Pedro, M. D. Santos, Eduardo, N. B. S. Julio, Vitor D. Silva, "Correlation between concrete-to-concrete bond strength and the roughness of the substrate surface", Construction and Building Materials 21, pp. 1688-1695, (2007).
7. Julio, E.S., Branco, F., Silva, V.D., "Strctural rehabilitation of columns using reinforced concrete jacking", Prog Struct Engng Mater, pp. 29-37, (2003).
8. Bett, B. J., Klingner, R. E., Jirsa, J. O., "Lateral load rersponse of strengthened and repaired reinforced concrete columns", *ACI Struct J*, 85, pp. 499-508, (1988).
9. Hommelwerke, Gmb,H., "Mummery L.Surface texture analysis-the handbook", Thyssen, (2000).
10. Santos, PMD., "Influence of the surface roughness of the interface concrete/concrete in its longitudinal shear resistance", MSc. Thesis, University of Combra, (2005).
11. Naderi, M, New Twist-Off Method for the Evaluation of In-Situ Strength of Concrete, *ASTM Journal of Testing and Evaluation*, Volume 35, Issue 6 (2007).
١٢. نادری، محمود، "تکنولوژی بتن: روش های بهبود و تعیین آزمایشگاهی و درجای مقاومت بتن"، تهران، انتشارات روزبهان، صفحه ١٧٤، (١٣٨٨).
13. Naderi, M, "Friction- transfer test for the assessment of in-situ stresgth & adhesion of cementitious materials, construction & Building Materials", Volume 19, Issue 6, pp. 454- 459, (2005).
14. Fuzzy Control Toolbox, Matlab Software, (2009).
15. Sedat, A. Gokmen, T, Sever, C. Fuzzy Model for the Prediction of Cement Compressive Strength. Cem. Concr. Res. 35(8): pp. 1429- 1433, (2004).
16 M. C. Nataraja, M.A. Jayaram and C.N. Ravikumar, Prediction of Strength of Concrete: A Fuzzy Inference System Model, *International Journal of Physical Scieces Vol.* 1 (2), pp. 047-056, October, (2006).